

OPTICAL COUPLING METHOD

Patent Number: JP60061707
Publication date: 1985-04-09
Inventor(s): KOUNO KENJI; others: 02
Applicant(s):: NIPPON DENSHIN DENWA KOSHA
Requested Patent: ☐ JP60061707
Application Number: JP19830169383 19830916
Priority Number(s):
IPC Classification: G02B6/42
EC Classification:
Equivalents: JP1844441C, JP5044643B

Abstract

PURPOSE: To reduce an allowable axial shift quantity by a small number of lenses, and to raise a reliability and a productivity by stopping down a converging or diverging light emitted from the first lens, into a light incident element formed as one body with the second lens.

CONSTITUTION: A spherical lens and a focusing type rod lens are used for the first lens 4 and the second lens 9, respectively. A distance d_0 between the first lens 4 and a light emitting surface 8 of an LD is made larger than a focal distance f_1 of the first lens 4, and a slightly stopped-down light generated after emission from the lens 4 is stopped down, for instance, to an optical fiber 2 formed as one body with a rod lens 9 which is shorter than $1/4$ pitch. A place to be adjusted is only the lens 9 + the optical fiber 2, and the productivity is raised remarkably. Also, a set shift of the lens 4 is comparatively small, therefore, the deterioration of a coupling efficiency caused by an angle shift which is left after correcting a position shift by moving the lens 9 + the optical fiber 2 in parallel is small, and when it is desired to correct, it is executed by inclining the lens 9 + the optical fiber 2.

Data supplied from the esp@cenet database - I2

⑩ 日本国特許庁(JP)

⑪ 特許出願公開

⑬ 公開特許公報(A)

昭60-61707

⑫ Int. Cl.⁴
G 02 B 6/42

識別記号 庁内整理番号
7529-2H

⑭ 公開 昭和60年(1985)4月9日

審査請求 有 発明の数 1 (全8頁)

⑮ 発明の名称 光結合方法

⑯ 特 願 昭58-169383

⑰ 出 願 昭58(1983)9月16日

⑱ 発 明 者 河 野 健 治 武蔵野市緑町三丁目9番11号 日本電信電話公社武蔵野電気通信研究所内

⑲ 発 明 者 三 宮 修 武蔵野市緑町三丁目9番11号 日本電信電話公社武蔵野電気通信研究所内

⑳ 発 明 者 猿 渡 正 俊 横須賀市武一丁目2356番地 日本電信電話公社横須賀電気通信研究所内

㉑ 出 願 人 日本電信電話公社

㉒ 代 理 人 弁理士 杉村 曉秀 外1名

明 細 書

1. 発明の名称 光結合方法

2. 特許請求の範囲

1. 光出射端子、第1レンズ、第2レンズと一体化した光入射端子をこの順序に配列し、前記光出射端子と前記第1レンズとの距離を前記第1レンズの焦点距離よりも大または小とすることにより、前記光出射端子から出射した光線を前記第1レンズの出射側に収束または発散させ、かつこの光線が前記光入射端子の端面に位を揃ふように前記第2レンズの位置を微定することにより、前記光出射端子から出射した光線を前記入射端子に入射させることを特徴とする光結合方法。

3. 発明の詳述な説明

本発明は光出射端子からの光を光入射端子へ効率的に結合させる操作性の良い光結合方法に関する。

半導体レーザーから出射された光を単一モード光ファイバへ効率的に結合させる結合方法として二つ

のレンズを用いて結合する(a)従来の共焦点結合レンズ系、三つのレンズを用いて結合する(b)第2レンズ分置型共焦点結合レンズ系がある。第1図および後述する第6図にそれぞれの結合系を示す。

第1図(a)は前記(a)の方法を示し、半導体レーザー1と単一モード光ファイバ2との間に焦点距離の異なる二つのレンズ4、5を配して半導体レーザー1からの光を光ファイバ2のコア3の入射端面に入射させている。また光ファイバ2の入射端面8に光ファイバのコア3と屈折率の近いガラス板7を貼ることにより入射端面8からの反射光を減少している。

第1図(b)は第1図(a)におけるレンズ系の構成を示している。図中8は半導体レーザーの発光面、9は単一モード光ファイバの入射端面をそれぞれ示す。第1レンズ6は半導体レーザーの発光面8からほぼ第1レンズ6の焦点距離 f_1 だけ離れており、第2レンズ5(焦点距離 f_2)と第1レンズ6との距離は両者の焦点距離の和($f_1 + f_2$)であり、光ファイバの入射面の位置8は第2レンズ5と f_2

だけ隠れている。

このようなレンズ系をとると、半導体レーザの発光直径(スポットサイズ) $2w_0$ はレンズ系の焦点距離の比 (f_2/f_1) だけ拡大され、光ファイバの入射面の位置 B にスポットサイズの直径 $2w_B$ が $2w_B = 2w_0 \times (f_2/f_1)$ の値を随ふ。そこで光ファイバの受光光ビームの直径を $2w_f$ とするとき w_f と w_B がほぼ等しくなるように f_2/f_1 を選べばよいことになる。

次に従来の共焦点組合レンズ系の随ずれ特性について説明する。半導体レーザモジュールを製作するには、まずは1レンズを位置合わせし、次に第2レンズを合わせ、これらのレンズ系によるビーム径でファイバとマッチングさせるので、第1レンズも第2レンズもにどのようなレンズ系を使用しても、光ファイバの固定精度は単一モード光ファイバ同様の接続特性と同等になる。

第2図には、スポットサイズが1mmの半導体レーザと、5.5mmの単一モード光ファイバを用いた組合について、横軸に光ファイバの光軸に

下の x 、 θ の値はそれぞれ約±2.5mm、約±2.8度となる。モジュール製作の際、過電、角度ずれは一度以内には抑えられるので、このスポットサイズを数倍大きくすれば単一モード光ファイバの光軸に垂直な方向における許容随ずれ値がかなり大きくなることがわかる。

また第3図には光ファイバの光軸方向における随ずれ x を横軸に、結合損失 η を縦軸にとつた図を示す。約60mmの光軸方向のずれにより1dBの劣化が生じる。

ここでスポットサイズを大きくするため第2レンズを光ファイバと一体化した組合を考える。第1レンズ A により半導体レーザの約1mmのスポットサイズ w_0 は、レーザの発振波長 $\lambda = 1.3\mu\text{m}$ 、第1レンズ A の焦点距離 $f_1 = 450\text{mm}$ として、 $w_1 = \lambda f_1 / (\pi w_0)$ の関係式よりスポットサイズ $w_1 = 189\mu\text{m}$ に変換される。この値を式(1)に代入すると、1dBの結合損失の増加に対する許容随ずれ x 、許容角度ずれ θ はそれぞれ約±8.9mm、約±8.6分となり、角度ずれが

垂直な方向のずれ x をとり、横軸に結合効率 η をとつた図を示す。第3図からわかるように、光ファイバが光軸に垂直に約±2.5mm 逃げれば1dBの結合損失が生じ、光軸に垂直な方向の許容随ずれ x は小さく、厳しい固定精度が要求されることがわかる。

ところでスポットサイズの等しい二つのガウスビームの結合特性は

$$\eta(x, \theta) = \exp\left(-\frac{x^2}{w^2} - \frac{\pi^2 w^2}{\lambda^2} \theta^2\right) \quad (1)$$

で表わされる(参考文献 M. Saruwatari and K. Nawata, : Semiconductor fiber coupler; Appl. Optics, vol. 18, No. 11, PP. 1867~1868, 1979)。ここで x は光軸に垂直な方向の随ずれ、 θ は二つのビームの角度ずれ、 w はガウスビームのスポットサイズ、 λ は半導体レーザの発振波長である。この式より w を大きくすると x の許容随ずれ値は大きくなるが、許容角度ずれ値は小さくなることがわかる。現在使用されている単一モード光ファイバの組合には、1dB劣

化めては小さくなることがわかる。

または1レンズと半導体レーザ1の光軸方向における固定精度が±10mm程度あると、第2レンズを通過したビームのウェストの位置は光軸方向で $(f_2/f_1)^2 \times (\pm 10) = \pm 250\text{mm}$ 程度ばらつくので、第2レンズと光ファイバを一体化したのではこのずれを補正しきれない。

さらに角度ずれのない平行ビームが第2レンズ B に入射するとその光軸上に像を随ふので、第2レンズ B の光軸と光ファイバの光軸とを完全に同心にして一体化する必要があるが、これは現在の工作精度では困難である。

したがって第2レンズ B をそのまま光ファイバ B に一体化したのでは高い結合効率は望めない。

第4図(A)は以上の欠点を除去するためにすでに提案されている前述の第2レンズ分型共焦点組合レンズ系の構成例図である。第1レンズ A としては球レンズを用い、第2レンズ B としては二つの銀鍍形ロッドレンズ(以下、ロッドレンズと略す) B_1 、 B_2 を用い、ロッドレンズ B_2 を光フ

ファイバ8に屈折させている。図示例ではロッドレンズ51, 52のピッチ長はそれぞれ $\frac{1}{6}$ であり、その和を $\frac{1}{4}$ ピッチとしている(ここで0.5ピッチとは点光源を点光源に結像するレンズの長さである)。ロッドレンズ52は光ファイバ2と接合部等を用いて一体化しており、光ファイバ2の位置合わせはロッドレンズ52と光ファイバ2とを固定した状態で行う。

図6図面は図6(A)のレンズ系の形成を示している。このレンズ系の結合特性は、半導体レーザー1から出射され、図1レンズ6によりスポットサイズが σ_1 に収束された光線が図1ロッドレンズ51のみを通過して生じた実像のスポットサイズ σ_{01} およびその位置と、光ファイバ2のコア6からスポットサイズ σ_f の光線が右からロッドレンズ52に入射した場合にできる虚像のスポットサイズ σ_{f2} およびその位置とにより求められる。例えばスポットサイズ σ_1 の光線が二つのロッドレンズ51, 52を通過して生じる光線のスポットサイズ σ_{02} と σ_f とが一致する場合には、実像 σ_{01}

と虚像 σ_{f2} の大きさと位置が一致している。

図6図面にはロッドレンズ52と一体化した光ファイバ2(以下レンズ52+光ファイバ2と略す)の光軸に垂直な方向における軸ずれ x を軸にとり、結合効率を縦軸にとった図を示す。二つのロッドレンズ51, 52のピッチ長をそれぞれ0.06ピッチ、0.18ピッチとしたとき、 $\sigma_{01} = 18.9 \mu\text{m}$ となり、1dBの損失増加を与える軸ずれ x と角反り θ はそれぞれ約 $\pm 5.9 \mu\text{m}$ 、 ± 5.6 分となる。

また光軸方向におけるレンズ52+光ファイバ2の軸ずれ z と結合効率との関係を図6図面示す。図6図面と図6図面を比較することにより光軸方向の許容軸ずれ z についても第2レンズ分割系は極めて良いことがわかる。第2レンズ分割系では1dBの結合損失増加を与える z は約 $400 \mu\text{m}$ と極めてゆるくなっている。

また第2レンズ分割系では、ロッドレンズ52が反射防止膜の役目をし、光ファイバ2の端面6からの反射光を抑えるので、従来の共焦点系にお

ける光学研磨をしたガラス板9が必要でなくなった。

前述のように、従来の共焦点系では光ファイバ2の許容軸ずれ z が小さいばかりでなく、反射防止の光学研磨ガラス板9が必要であり、これらの点を改良した第2レンズ分割系では、レンズの数が従来の共焦点系のものより一つ増加するという欠点がある。

さらに半導体レーザーモジュールを製作する場合、従来の共焦点系ではレンズ5と光ファイバ2、第2レンズ分割系ではロッドレンズ51とレンズ52+光ファイバ2の相互位置を調整する作業が必要である。この位置合わせの作業は難しく、半導体レーザーモジュールの製作性を著しく低下していた。

本発明は第1レンズ出射径の収束または発散光線を図2レンズと一体化した光入射部に絞り込むことを特徴とし、その目的は製作性が極めて良く、レンズの個数も2個と少なく、許容軸ずれ z が広く、かつ反射光の少ない半導体レーザー光結合方

法を提供することにある。以下図面により本発明を詳細に説明する。

図7図面(A)は本発明の一実施例図であり、図7図面(B)はその原理図である。図1図、図6図面と対応する部分には同一符号を付けている。図1レンズ4としては球レンズを、図2レンズ9としてロッドレンズを使用している。なお図2レンズ9として球レンズを用いる場合には、レンズ9と光ファイバ2との間をあげねばならず、その間に光学研磨したガラス板、光学接合剤、マッティングオイル等を押入するか、光ファイバ2の端面に反射防止膜を施す必要がある。以下、図2レンズ9と光ファイバ2を一体化したものをレンズ9+光ファイバ2と略す。

図7図面(A), (B)の実施例は図1レンズ4とLDの発光面8との距離 d_0 を図1レンズ4の焦点距離 f_1 より大きくし、レンズ4出射後に生じた絞り g の光線、例えば $\frac{1}{4}$ ピッチより短いロッドレンズ9と一体化した光ファイバ2に絞り込むものである。このレンズ系の結合特性は、スポット

サイズ w_0 の半導体レーザ光を第1レンズ6により収束して作った束のスポットサイズ w_{01} およびその位置と、光ファイバ8のコア8からスポットサイズ w_f の光口が右からレンズ8に入射した場合にできる束のスポットサイズ w_{f0} およびその位置とにより求められる。

半導体レーザ1の発光面0と第1レンズ6との距離 d_0 は、束のスポットサイズ w_{f0} と束のスポットサイズ w_{01} を一致させる条件から、発光面行列 (参考文献 M. Saruwatari and K. Nawata, : Semiconductor fiber coupler : Appl. Optics, vol. 18, No. 11, PP. 1887 ~ 1889, 1979) を用いて次式のように求められる。

$$d_0 = f_1 \left(1 + \sqrt{\left(\frac{w_0}{w_{f0}} \right)^2 + \left(\frac{w_{01}}{f_1} \right)^2} \right) \quad (6)$$

例えば第1レンズ6として焦点距離 f_1 が $f_1 = 0.8 \text{ mm}$ の収束レンズを使用し、レンズ8として0.18 ピッチのロッドレンズを用いると、半導体レーザの発光面長 $l = 1.0 \text{ mm}$ 、半導体レーザ光

のスポットサイズ $w_0 = 1 \text{ mm}$ 、束のスポットサイズ $w_{f0} = 1.0 \text{ mm}$ として、式(6)より $d_0 = 0.91 \text{ mm}$ となる。

本発明では、束の共焦点系におけるレンズ8、第8レンズ分組系におけるレンズ81に対応したレンズは不要であり、レンズ6を挿入した半導体レーザパッケージを用いた場合、収束箇所はレンズ88 + 光ファイバ8のみであり、モジュールの操作性が著しく向上する。またレンズ6の収束ずれは比較的小さいので、レンズ8 + 光ファイバ8を平行移動して位置ずれを補正した後に束の角度ずれに起因する結合損失の劣化は小さい。束の共焦点系においてレンズ8と光ファイバ8を一体化した場合に比べて角度ずれに結合損失の劣化が小さいのは、レンズ6出射後の束のスポットサイズが束の共焦点系では 1.0 mm 、本発明では 12.0 mm と $1/10$ 以下の大きくなるためである。なお前述の角度ずれをも補正したい場合には、レンズ8 + 光ファイバ8を傾ければよい。この場合にもスポットサイズが 12.0 mm 程度の大きさであ

るから、傾けは比較的容易である。

第8図には、レンズ8 + 光ファイバ8の光口に垂直な方向におけるずれ量 ϵ を示し、結合損失 η を理論的に示す。ここでレンズ8としては0.18 ピッチのロッドレンズを使用している。このとき1 dBの損失増減を与えるずれ ϵ と角度ずれ θ はそれぞれ約 $\pm 0.0 \text{ mm}$ 、 ± 0.8 分となる。

また光軸方向におけるレンズ8 + 光ファイバ8のずれ量 δ と結合損失 η との関係を第9図に示す。1 dBの損失増減を与える δ は約 0.8 mm となる。このように許容ずれ量は、レンズが一つ少ないにもかかわらず光軸方向、光軸に垂直な方向とも、第8レンズ分組系すなわち第4図のものと同等であり、束の共焦点系すなわち第3図のものより極めて良くなっている。

また本発明では第1レンズ6の光軸方向における固定損失のため生じた第8レンズ分組系のビームウエスト w_{00} の位置のばらつきは、第1レンズ6と第8レンズ8との距離を調整することにより、

容易に補正できることを示している。

さらに本発明では、第8レンズ8を光ファイバに一体化する構造をとっている。光ファイバ入射端面では屈折率が小さく反射が少なくなる。このように、束の共焦点系に必要であった屈折防止のための光吸収膜が不要となった。

以上の実施例では、半導体レーザ1の発光面0と第1レンズ6との距離 d_0 を、第1レンズ6の焦点距離 f_1 より大きくとり、第8レンズ8のピッチ長が $1/6$ ピッチより短い場合について述べた。しかしながら d_0 を f_1 より小さくとり、第8レンズ8のピッチ長を $1/6$ より長めにとることも可能である。この場合は、第1レンズ6を出射した束のスポットサイズ w_{01} が束のものとなり、光ファイバ8のコア8から第8レンズ8に入射して生じたスポットサイズ w_{01} が束のものとなる。結合損失 η はこの二つのスポットサイズの割合として計算できる。このとき d_0 は次式から算出される。

$$d_0 = f_1 \left\{ 1 - \sqrt{\left(\frac{w_0}{w_{f0}}\right)^2 + \left(\frac{\pi w_0}{l}\right)^2 \left(\frac{1}{f_1}\right)^2} \right\} \quad (a)$$

図10図は図7図の実施例におけるレンズ8の代わりに、レンズ4と同様の球レンズ10を用い、光ファイバ8の代わりに半導体レーザ11を用いた実施例図であり、光直接増幅器を実現できる。

図11図は図10図の実施例における半導体レーザ11の代わりに、光出射用の光ファイバ12を、球レンズ4の代わりにロッドレンズ18を用いた実施例図であり、光直接増幅器を実現できる。

なお図10図、図11図においては、球レンズ10と光入射用半導体レーザ11を固定器具を用いて一体化する。

図12図は図11図の実施例における球レンズ10の代わりに、ロッドレンズ8を用い、半導体レーザ11の代わりに光ファイバ8を用いた実施例図であり、光の受効回路を実現できる。

なお図11図、図12図において、光ファイバ12とロッドレンズ18を密着させてもよい。又

が得られるので、信頼性の高い光結合装置を構成することができるとともに、その操作性が著しく向上する。

なお従来の共焦点系には必要であつた反射防止板が不必要となる。

また本発明の方法を多モード光ファイバ用半導体レーザ結合装置の構成に適用することが可能で、その操作性の向上が期待できる。

6. 図面の簡単な説明

図1図(A)、図2図は従来の共焦点系組合レンズ系の構成例とその原理の説明図、図3図と図4図は従来の共焦点系について光軸に垂直な方向と光軸方向における軸ずれ特性を説明する図、図5図(A)、図6図は図2レンズ分割型共焦点系組合レンズ系の構成例とその原理の説明図、図7図と図8図は図2レンズ分割系について光軸に垂直な方向と光軸方向における軸ずれ特性を説明する図、図9図(A)、図10図は本発明の一実施例とその原理の説明図、図11図と図12図は光軸に垂直な方向と光軸方向における軸ずれ特性を説明する図、図13図、図14図、

図15図の実施例において球レンズ10とロッドレンズ18を入れかえてもよい。

YIG球を用いたアイソレータ内蔵のLDモジュール(特許・杉江、昭和57年度電子通信学会光・電波部門全国大会816番)の場合、YIGは屈折率が高く、球レンズの焦点が球の中に入るので、図13図(A)に示すように、YIG球14から出射された光線は平行光線にならず、絞りぎみとなる。このため従来の共焦点系のレンズ構成はとれない。なお図13図(A)において、15は磁石、16は偏光子である。

本発明では、屈折率の高いレンズを図1レンズとして使用しても、構成が可能となる。この場合の構成を図14図に示す。これによりYIG球を用いたアイソレータの場合にも、操作性の改善と、図2レンズを一体化した光ファイバ8の許容軸ずれ量を大きくすることが可能となる。

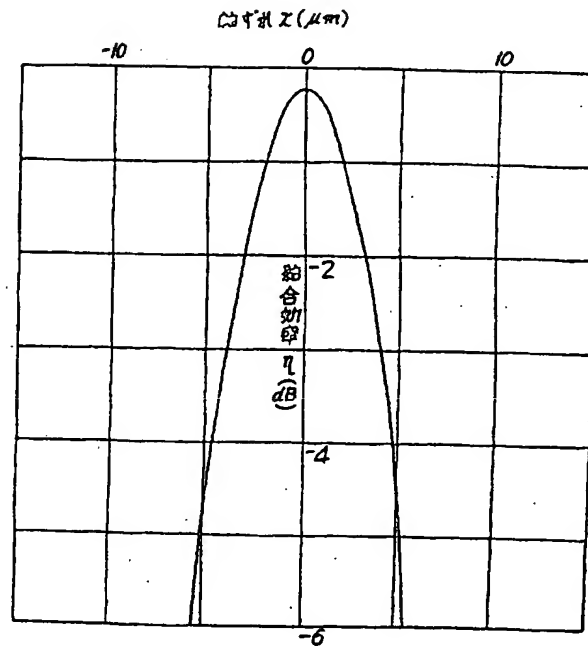
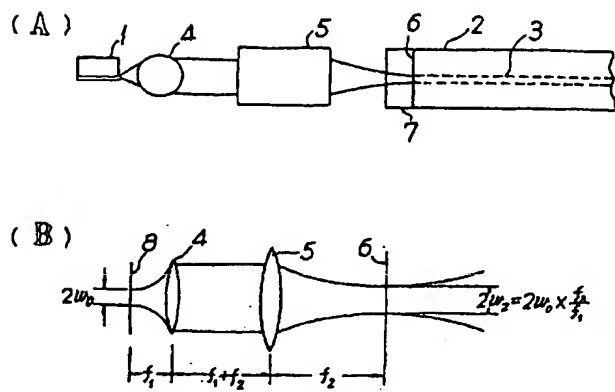
以上説明したように、本発明の方法によれば、従来の共焦点系の同じレンズの段で、レンズの段が多い図2レンズ分割系と同程度の許容軸ずれ量

図12図は本発明の他の実施例図、図13図(A)は従来のLDモジュールの構成図、図13図(B)は本発明を適用した場合のLDモジュールの構成図である。

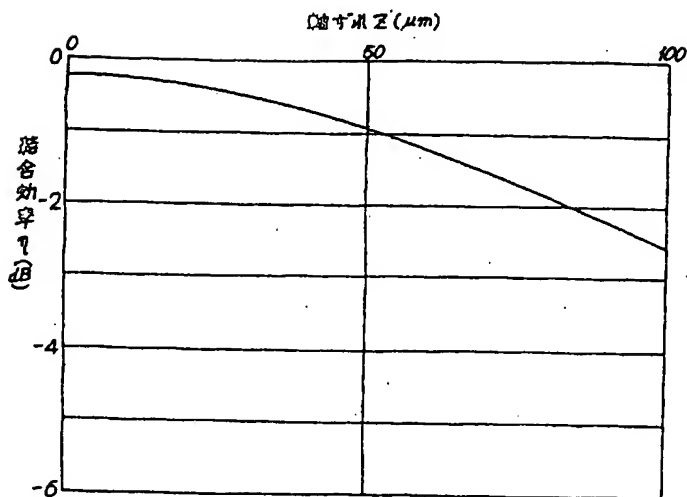
- 1…光出射用半導体レーザ、
- 2…光入射用光ファイバ、3…光ファイバのコア、
- 4…図1レンズ、5…従来の共焦点系における図2レンズ、51…図2レンズ分割系の図1集束形ロッドレンズ、52…図2レンズ分割系の図2集束形ロッドレンズ、6…光ファイバの端面、
- 7…反射防止板、8…半導体レーザの発光面、
- 9…本発明の一実施例における図2レンズ(集束形ロッドレンズ)、10…本発明の実施例における図2レンズ(球レンズ)、11…光入射用半導体レーザ(光増幅器)、12…光出射用光ファイバ、13…本発明の実施例における図1レンズ、
- 14…YIG球、15…磁石、16…偏光子。

第2図

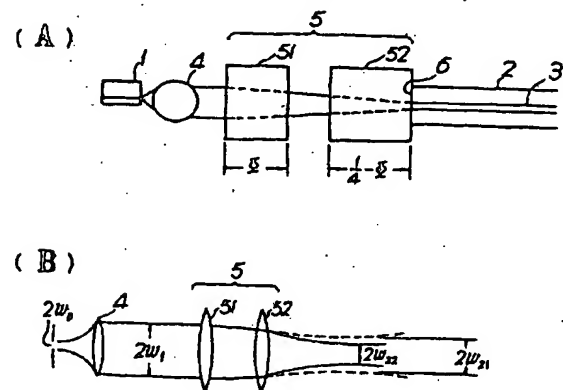
第1図



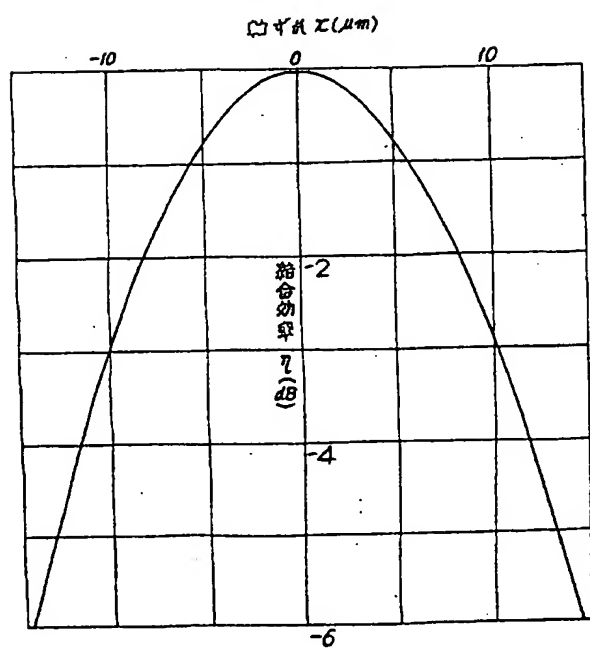
第3図



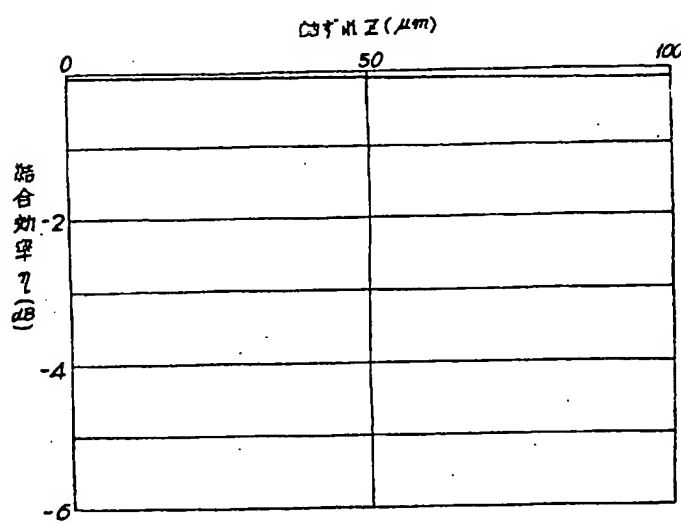
第4図



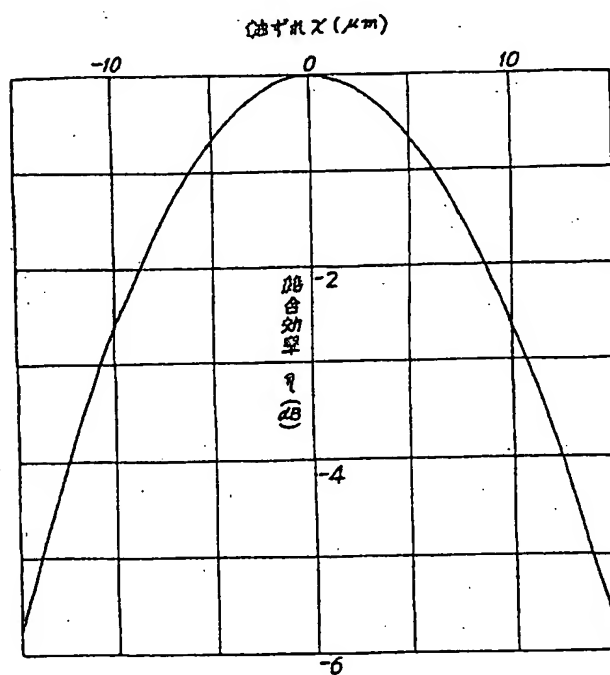
第 5 図



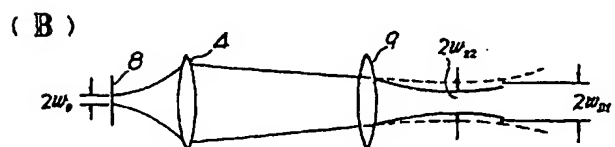
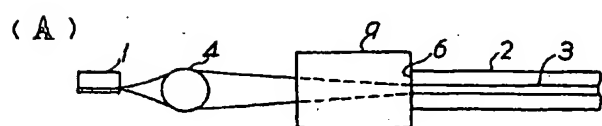
第 6 図



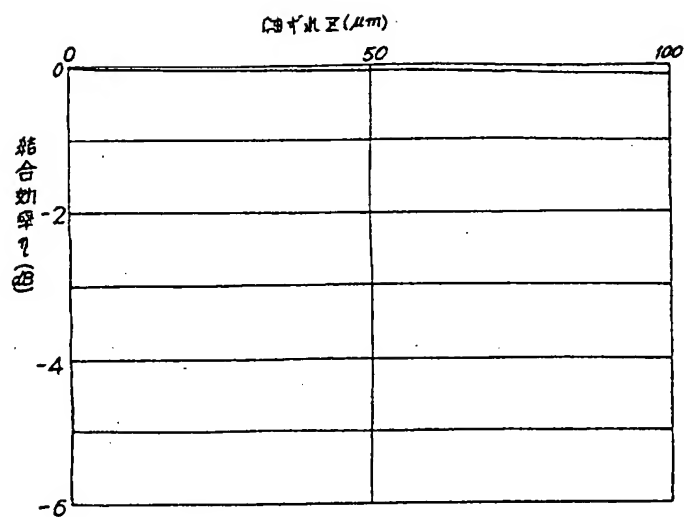
第 8 図



第 7 図



第 9 図



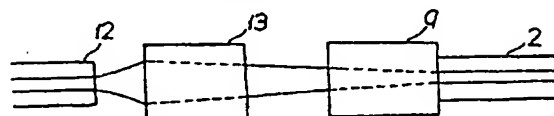
第 10 図



第 11 図



第 12 図



第 13 図

